

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ELIAS DANIEL DAS CHAGAS

**MAPAS DE PRODUTIVIDADE DO POVOAMENTO E COMPARAÇÃO ENTRE
VOLUMES COMERCIAIS OBTIDOS DO CABEÇOTE *HARVESTER* E
INVENTÁRIO FLORESTAL**

**CURITIBA
2020**

ELIAS DANIEL DAS CHAGAS

MAPAS DE PRODUTIVIDADE DO POVOAMENTO E COMPARAÇÃO ENTRE
VOLUMES COMERCIAIS OBTIDOS DO CABEÇOTE *HARVESTER* E
INVENTÁRIO FLORESTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de MBA em Manejo Florestal de
Precisão, do Programa de Educação
Continuada em Ciências Agrárias, da
Universidade Federal do Paraná, como pré-
requisito para obtenção do título de
especialista.

Orientadora: Profa. Dra. Carla Krulikowski
Rodrigues Pelissari

CURITIBA
2020

Dedico este trabalho aos meus pais, à
minha esposa Ester e à minha filha Emanuely.

AGRADECIMENTOS

Ao Curso de Especialização em Manejo Florestal de Precisão, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Carlos Roberto Sanquetta, pelo apoio recebido.

Aos Professores.

Aos colegas de turma.

À companhia, por proporcionar a chance de desenvolver meus estudos em suas áreas, cedendo as informações, equipamentos e colaboradores.

O agradecimento especial a minha orientadora Profa. Dra. Carla Krulikowski Rodrigues Pelissari que sempre esteve presente no processo de elaboração deste trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma.

Muito obrigado!

“A alegria está na luta, na tentativa,
no sofrimento envolvido e não na
vitória propriamente dita”.

Mahatma Gandhi

MAPAS DE PRODUTIVIDADE DO POVOAMENTO E COMPARAÇÃO ENTRE VOLUMES COMERCIAIS OBTIDOS DO CABEÇOTE *HARVESTER* E INVENTÁRIO FLORESTAL

Elias Daniel das Chagas¹

¹ Engenheiro Civil, Pós-graduando em MBA de Manejo Florestal de Precisão, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Bairro Juvevê – Curitiba – Paraná – Brasil, eliaschagas@hotmail.com.

RESUMO

As modernas máquinas de colheita de madeira são equipadas com um computador de bordo e um sistema de coleta de dados e comunicação, que registram automaticamente as informações métricas do fuste, como diâmetros, comprimentos e volumes por meio de sensores localizados nas ferramentas do cabeçote processador, denominados de rolo de comprimento e de alimentação. Tais dados podem ser empregados para o controle de produção na atividade de corte florestal, como também para o planejamento das operações subsequentes. Neste contexto, objetivou-se avaliar o uso dos dados de volumes comerciais obtidos pelo computador de bordo do *harvester* para a confecção de mapas temáticos de produtividade com dados de produtividade posto em fábrica. O estudo foi realizado em uma empresa florestal, localizada no município de Silvânia, Mato Grosso do Sul. O povoamento avaliado era constituído de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden, com idade de 7,4 anos, submetido ao corte raso. Os valores de volume comercial foram obtidos pelo sistema StanForD em um *harvester* da marca Komatsu. Esse sistema possibilitou a obtenção das informações espaciais para serem usadas na criação de mapas de produtividade. A avaliação dos dados incluiu a comparação com os mapas de produtividades gerados a partir de dados de inventário florestal que foram realizados antes da colheita. Conclui-se que o resultado obtido foi satisfatório, pois apresentou uma coerência entre o volume obtido através de cabeçote do *harvester* e o volume gerado pelo inventário tradicional. A consistência dos dados obtidos da integração do cabeçote, GNSS e *software* de gestão da máquina potencializa uma ferramenta de tomada de decisão de baixo custo podendo substituir modelos de coleta de dados mais onerosos para a organização.

Palavras chave: Manejo de precisão; StanForD; Volume.

PRODUCTIVITY STANDS MAPS AND COMPARISON BETWEEN COMMERCIAL VOLUMES FROM HARVESTER HEAD AND FOREST INVENTORY

Elias Daniel das Chagas¹

¹ Engenheiro Civil, Pós-graduando em MBA de Manejo Florestal de Precisão, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, Bairro Juvevê – Curitiba – Paraná – Brasil, eliaschagas@hotmail.com.

ABSTRACT

Modern wood harvesting machines are equipped with an on-board computer and a data collection and communication system, which automatically record metric information from the shaft, such as diameters, lengths and volumes through sensors located on the processor head tools, called length and feed roll. Such data can be used to control production in the forest cutting activity, as well as to plan subsequent operations. In this context, the objective was to evaluate the use of data on commercial volumes obtained by the harvester's on-board computer for the making of thematic productivity maps, in order to and with productivity data put in the factory. The study was carried out in a forestry company, located in the municipality of Selvíria, Mato Grosso do Sul. The evaluated population consisted of *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden at 7.4 years old under clear cutting. The commercial volume values were obtained by the StanForD system in a Komatsu harvester. This system made it possible to obtain spatial information to be used in the creation of productivity maps. The evaluation of the data included the comparison with the productivity maps generated from forest inventory data that were carried out before the harvest. It is concluded that the result obtained was satisfactory, since it presented a coherence between the volume obtained through the harvester head and the volume generated by the traditional inventory. The consistency of the data obtained from the integration of the head, GNSS and machine management software enhances a low-cost decision-making tool that can replace more expensive data collection models for the organization.

Keywords: Precision Management; StanForD; Volume.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Localização da área de estudo.....	8
Figura 2. Primeira faixa de trabalho com quatro linhas do povoamento (a); e, segunda faixa de trabalho com mais quatro linhas (b).	10
Figura 3. Distribuição das unidades amostrais em um povoamento de <i>Eucalyptus grandis</i> situado no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul.	11
Figura 4. Posição da antena GNSS na cabine do equipamento.....	13
Figura 5. Fluxo de coleta de dados.	13
Figura 6. Classificação pelo IDW com dados do inventário para volume por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (a) e para volume por árvore ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) (b).	14
Figura 7. Classificação pelo IDW dos dados obtidos do harvester para volume por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (a) e para volume por árvore ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) (b).	15
Figura 8. Classificação pelo IDW dos dados inventário por árvore média (a). e, reclassificação com dados do harvester para árvore média (b).	16
Figura 9. Intersect com as classes dos dados classe volume cabeçote harvester x área Classe (0,145 - 0,161) do volume do inventário.	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dendrométricas do povoamento avaliado.....	9
Tabela 2. Coordenadas Geográficas das unidades amostrais (UA) – Datum SIRGAS 2000.....	11
Tabela 3. Cruzamento espacial de árvore média inventário e dados do cabeçote harvester.	16
Tabela 4. Comparativo de volumes do inventário, do corte e posto fábrica do talhão avaliado	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1. Objetivo geral.....	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Setor Florestal Brasileiro.....	4
3.2. Inventário Florestal e Erros de Amostragem	4
3.3. Colheita Florestal	5
3.3.1. Conceito.....	5
3.3.2. Sistemas de Colheita de madeira	5
3.3.3. <i>Harvester</i> e dados obtidos no computador de bordo	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1. Descrição da área de estudo	8
4.2. Características dos povoamentos	8
4.3. Sistema de colheita da madeira e máquina avaliada	9
4.4. Coleta de dados	10
4.4.1. Inventário florestal.....	10
4.4.2. Colheita de madeira	12
4.5. Análise dos dados.....	13
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
6. CONCLUSÕES	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com potencial florestal elevado, tendo sua cobertura composta por florestas naturais e plantadas, as quais abrangem aproximadamente 545 milhões de hectares, o que equivale a 2/3 do território nacional. As áreas de florestas plantadas somam cerca de 7,84 milhões de hectares (IBÁ, 2017). Esse enorme potencial proporciona a necessidade de mecanização das operações florestais, a fim de garantir a produção e, principalmente, atender às exigências industriais para o dimensionamento das toras que devem seguir o comprimento e o diâmetro pré-determinado (ROBERT, 2012).

No Brasil, geralmente, predominam-se dois sistemas de colheita de madeira: toras curtas (*cut-to-length*) e árvores inteiras (*full-tree*), conforme classificação proposta pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1977). O primeiro sistema caracteriza-se pelo corte, que quando mecanizado, o *harvester* executa a derrubada, o desganhamento, o traçamento e o empilhamento, e, em seguida, o *forwarder* realiza a extração das toras até as margens do talhão. No segundo sistema, o *feller-buncher* executa a derrubada de várias árvores, dispondo-as na forma feixes sobre o solo, que em seguida, são arrastados pelo *skidder* até o local onde são processadas na forma de toras (MACHADO et al., 2014).

Os modernos *harvesters* e processadores florestais têm a capacidade de gerar e registrar muitos dados usando sensores e computador de bordo. Como informações de fuste, toras processadas e tempo consumido na operação. Quando a função Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) está disponível, as coordenadas geoespaciais também podem ser incluídas. Além disso, o sistema pode oferecer uma ferramenta de navegação para auxiliar o operador da máquina na operação e gerar relatórios detalhados de produção, para fins de avaliação da produtividade da máquina, bem como confrontar suas análises com os dados do inventário florestal. Logo, uma possível aplicação adicional dessa tecnologia seria a geração de mapas de produtividade da floresta que, com um alto nível de detalhes, podem recriar as características dos povoamentos colhidos.

Com a modernização das máquinas florestais, as geotecnologias vêm ganhando espaço nas organizações, pois, por meio delas tornam-se possíveis a manipulação e o gerenciamento de grande quantidade de dados, combinando informações tabulares e espaciais, o que facilita a tomada de decisão dos gestores florestais. Tais análises espaciais podem ser aplicadas em qualquer área operacional que se deseja compreender o ambiente e a relação espacial entre objetos, logo, na área florestal pode ser aplicada em diversas fases do ciclo da floresta, construindo facilmente um *bigdata*.

Com os dados dendrométricos do fuste mensurados pelos sensores instalados no cabeçote *harvester*, bem como georreferenciados, torna-se possível elaborar mapas de produtividade dos povoamentos colhidos, podendo compará-los com mapas do inventário florestal realizado antes do corte (RODRIGUES et al., 2019). Assim, pode verificar a acurácia do volume de madeira recebido nas unidades fabris e justificar desvios tanto operacionais, como no inventário florestal, devido à erros de amostragens.

Quanto à definição dos objetivos do inventário, deve-se considerar que o levantamento é executado para fornecer informações importantes para tomada de decisões, concernente ao planejamento e ao controle da utilização dos recursos florestais ou a sua conservação e/ou recuperação (SANQUETTA et al., 2014). A precisão de um inventário florestal baseado em amostragem é indicada pelo tamanho do erro de amostragem excluindo os efeitos dos erros não amostrais. Assim, tenta-se atingir a exatidão com o planejamento e a execução do inventário pela eliminação ou redução dos erros não amostrais a um mínimo aceitável (HUSCH et al. 1982).

Dentro deste contexto, cada vez mais o processo produtivo florestal tem a necessidade de automatizar sua cadeia para garantir que dos dados gerados na hora da colheita sejam iguais a informação que chegam na fábrica. Através de interpolador IDW (*Inverse distance weighted*) será possível analisar a comparação entre o volume comercial disponibilizado pelo inventário florestal com os dados gerados pelo cabeçote *harvester*, bem como o volume recebido nas unidades fabris após o transporte.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo geral

Criar e comparar mapas de produtividade do povoamento gerados com dados de volume mensurados pelos sensores do cabeçote *harvester* e pelo inventário florestal.

2.2. Objetivos específicos

- a) Elaborar mapas de produtividade do povoamento com os dados mensurados pelo cabeçote *harvester* e elaborar mapas de produtividade do povoamento com dados de inventário florestal; e
- b) Comparar as informações de volume de madeira mesurados pelo *harvester* com as estimativas de inventário, bem como o volume de madeira posta na unidade fabril.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Setor Florestal Brasileiro

A área total de árvores plantadas no Brasil alcançou 7,83 milhões de hectares em 2018, estável em relação ao ano de 2017. O total de área certificada aumentou para 6,3 milhões de hectares, incluindo área produtiva e de conservação. Se considerada apenas a área de árvores plantadas, o total certificado é 3,5 milhões de hectares, o que representa um aumento de 9,4% na comparação com o total certificado em 2017 (IBÁ, 2019).

Líder mundial em produtividade de madeira, o setor florestal brasileiro tem como desafio intensificar a sua produção para atender à crescente demanda por fibras, madeira, energia e tantas novas aplicações ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, sempre comprometido com o manejo sustentável das florestas, que exercem papel relevante na proteção e conservação dos ecossistemas (IBÁ, 2017).

Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares desse total, enquanto as áreas com pinus somam 1,6 milhão de hectares, e outras espécies, entre elas seringueira, acácia, teca e paricá, representam cerca de 590 mil hectares. Os plantios de eucalipto estão localizados principalmente nos Estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (16%). Nos últimos sete anos, o crescimento médio da área de eucalipto foi de 1,1% ao ano, com o Mato Grosso do Sul liderando esta expansão, que sozinho apresentou uma taxa média de crescimento de 7,4% ao ano (IBÁ, 2019).

3.2. Inventário Florestal e Erros de Amostragem

As bases para o planejamento do inventário florestal variam em funções dos objetivos e dos recursos necessários para a sua execução. Os objetivos do inventário devem ser claros e bem definidos, sendo o planejamento efetuado dentro das premissas e diretrizes estabelecidas em função de tais objetivos. Um erro pequeno no cálculo de área pode significar negativamente para o inventário florestal, mesmo que tenha havido o maior rigor nas mensurações efetuadas em campo (SANQUETTA et al. 2014).

Segundo Shiver e Borders (1996), três fatores aumentam a probabilidade de ocorrência do erro de amostragem: o tamanho da amostra, a variabilidade das unidades de amostra dentro da população e o método de seleção das unidades de amostra. Assim, é notório que amostras maiores, selecionadas sem tendência, propiciam estimativas com menor porcentagem de erro. Afinal, se todas as unidades de amostra que compõem uma população fossem amostradas (censo), o erro de amostragem seria igual a zero.

Consequentemente, são empregadas técnicas amostrais e biométricas para a obtenção das informações necessárias, no entanto, o maior problema encontrado na utilização dessas técnicas está nos erros associados às estimativas. Devido a esses erros, as estimativas dos inventários, geralmente, entram em conflito com o que é mensurado na colheita florestal, encontrando volumes diferentes ao colhido (OLIVEIRA, 2011).

3.3. Colheita Florestal

3.3.1. Conceito

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte, utilizando-se de técnicas e padrões estabelecidos a fim de transformá-la em produto final (TANAKA, 1986). A colheita é, portanto, a ligação entre os recursos florestais e as indústrias madeireiras ou outros usuários de madeira (KANTOLA; HARSTELA, 1994).

Destaca-se como fase mais importante do ponto de vista técnico-econômico e inclui as etapas de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento), de descascamento quando executar no campo, e de extração, que pode ser realizada na forma de baldeio, arraste ou suspenso (MACHADO et al., 2014).

3.3.2. Sistemas de Colheita de madeira

O sistema de colheita de madeira pode ser definido como um conjunto de atividades para o fornecimento constante de madeira para a fábrica e variam em função do relevo, do padrão e produção da floresta, sortimentos, uso final da madeira e das máquinas e equipamentos disponíveis (MACHADO et al., 2014).

Segundo a FAO (1977) os sistemas são classificados quanto à forma da madeira manipulada na fase de extração, do local de processamento e do grau de mecanização, sendo:

- a) Toras curtas (*cut-to-length*): a árvore é processada no local onde foi derrubada, sendo extraída a madeira na forma de toras sob uma plataforma, denominada de baldeio;
- b) Toras longas (*tree-length*): a árvore é semiprocessada no local onde foi derrubada, sendo desgalhada e destopada, seguido do arraste e posterior processamento na forma de toras;
- c) Árvores inteiras (*full-tree*): as árvores são derrubadas e removidas para as margens das estradas ou para pátios temporários, onde realiza-se o processamento da madeira na forma de toras;
- d) Árvores completas (*whole-tree*): a árvore é arrancada com parte do seu sistema radicular e removida para a margem da estrada ou para um pátio temporário, onde é realizado o processamento da madeira; e
- e) Cavaqueamento (*chipping*): a árvore é derrubada e processada no mesmo lugar de plantio, sendo removida na forma de cavacos para a margem da estrada ou para um pátio temporário de estocagem.

3.3.3. Harvester e dados obtidos no computador de bordo

Segundo Malinovski e Malinovski (1998), o *harvester* é uma das máquinas mais completas do setor florestal sendo capaz de executar simultaneamente as operações de derrubada, desganhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira. O *harvester* é composto de uma máquina com base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote processador.

O comprimento e diâmetros do fuste são mensurados por meio de ferramentas e sensores localizados no cabeçote. Portanto, o comprimento pode ser mensurado pelo rolo de medição de comprimento, enquanto os diâmetros, pelas facas de descascamento superiores ou rolos de alimentação. Logo, os cabeçotes de *harvester* modernos geralmente registram pelo menos três pontos ao redor do fuste, assim, o computador de bordo calcula o volume com base nesses pontos de medições (SKOGFORSK, 2019).

A qualidade da mensuração pode ser afetada por: (1) manutenção técnica, pois falhas mecânicas e desgaste nos sensores de diâmetro, facas de

remoção de galhos, rolos de alimentação e rolo de medição reduz a precisão da medição; e (2) configurações da máquina, pois as configurações de pressão para facas de remoção, rolos de alimentação, roda medidora e velocidade de alimentação são importantes para o *harvester* medir com precisão (NADOLNY et al., 2019; SKOGFORSK, 2019).

3.4. Mapas de produtividade

Na operação de corte mecanizado com *harvester* são registrados dados de volume individual por árvore colhida por coordenada, número de toras, diâmetro na altura do peito (DAP), seções de diâmetro medidas em intervalos de 10 cm ao longo da tora, volume do caule e volume individual de cada tora. Tais dados podem ser utilizados para produção de mapas de produtividade, por meio do inverso da distância ao quadrado (IDW), que estima valores de pontos não amostrados, fundamentando-se, em pontos amostrados, atribuindo-se valores em cada amostra e a distância entre elas (ALVARENGA et al., 2010).

O interpolador IDW usa uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados. O peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância. Este é um interpolador local, no qual o raio (distância) de busca dos pontos amostrados e a potência da função são parâmetros essenciais para sua aplicação (MARCUIZZO et al., 2011). A ideia por trás do interpolador IDW é que pontos próximos tem valores similares enquanto que pontos distantes são independentes. Assim, pontos amostrados mais próximos do ponto a ser interpolado tem uma maior influência do que pontos amostrados distantes (EL-SHEIMY et al., 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O trabalho foi realizado em uma empresa florestal, localizada no Município de Selvíria, no estado do Mato Grosso do Sul (coordenadas: 20° 24' 58" S e 51° 48' 167" W), e com altitude média de 379 metros (Figura 1).

O clima foi classificado, segundo Köppen, como tropical, Aw, com estação seca de inverno e verão úmido (ALVARES et al., 2013). A região apresenta precipitações anual de 1.241 mm (estação meteorológica A704 Três Lagoas - 2018), concentradas no verão. O Solo foi classificado como Latossolo Vermelho, Tipo LV43 (SANTOS et al., 2018).

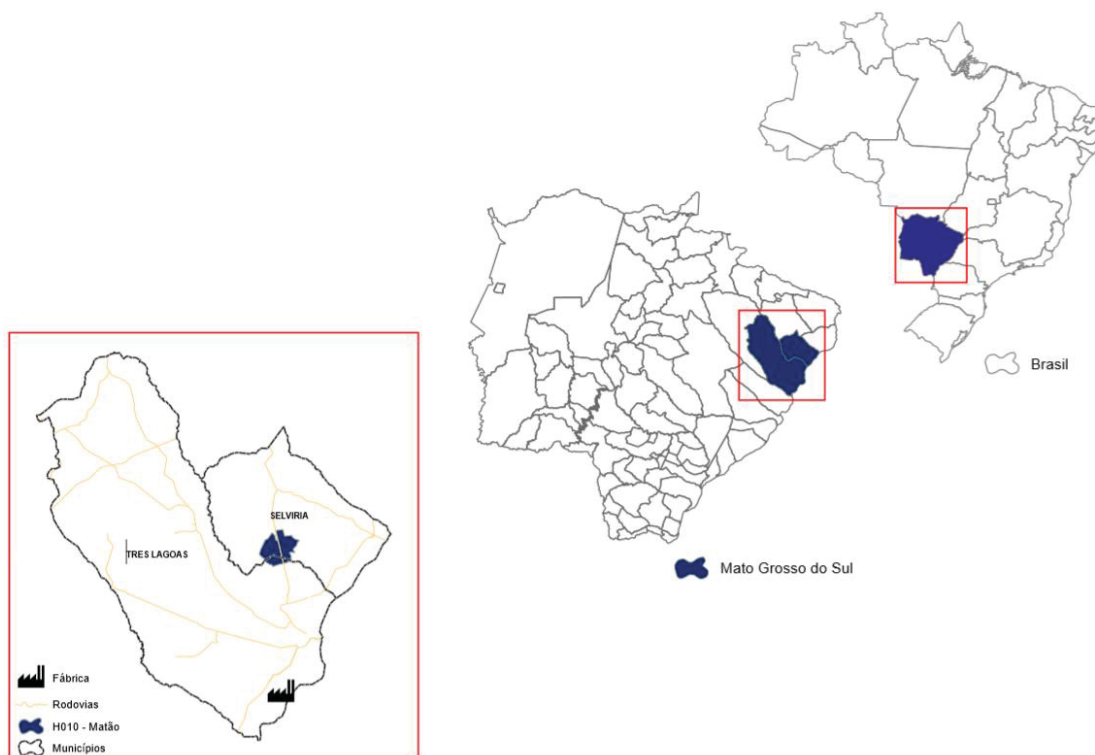


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Suzano S/A.

4.2. Características dos povoamentos

O estudo foi conduzido em povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em um material genético S3, com idade de 7,4 anos, respectivamente, sendo implantado em espaçamento de 2,80 m x 2,80 m, e conduzidos em regime de

rebrotar. Seguem as características do povoamento oriundo do inventário florestal contínuo (Tabela 1).

Tabela 1. Características dendrométricas do povoamento avaliado.

Informações	Material Genético
	SE
Idade (anos)	7,4
Espaçamento (m x m)	2,80 x 2,80
Área (ha)	91,15
Diâmetro médio à altura do peito (cm)	14,5
Altura total média (m)	23,74
Altura dominante (m)	27,86
Volume médio individual (m ³)	0,17
Número de árvores por hectare	1.165
Número de árvores por talhão	106.202
Incremento médio anual (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	27,04
Volume por hectare (m ³ ha ⁻¹)	200,13
Volume por talhão (m ³ talhão ⁻¹)	18.242,10

4.3. Sistema de colheita da madeira e máquina avaliada

O sistema de colheita empregado na operação florestal foi o de toras curtas (*cut-to-length* – CTL). O corte florestal foi realizado pelo *harvester*, responsável pelo abate, processamento (desgalhamento, traçamento, descascamento e destopo) e empilhamento das toras destinadas à celulose, com comprimento padrão de 6,5 m. A largura da faixa de corte foi de 11,2 m, correspondente a quatro linhas do povoamento, sendo realizadas de forma ambidestra, o que proporcionava a formação de pilhas com oito linhas do povoamento (Figura 2).

(a)



(b)



Figura 2. Primeira faixa de trabalho com quatro linhas do povoamento (a); e, segunda faixa de trabalho com mais quatro linhas (b).

A máquina base utilizada foi um *harvester* da marca Komatsu, modelo PC200F, com motor de potência 116 kW, rodados de esteiras, com lança de alcance de 9,31 m e vida útil média de 30.000 horas. O cabeçote acoplado era da marca Komatsu, modelo 370E, com 2 rolos de alimentação, 4 facas móveis mais 1 fixa e diâmetro máximo de corte de 700 mm.

No período de teste trabalharam 68 operadores na faixa etária média de 28 anos, sendo todos do sexo masculino, com 2 anos de experiência na empresa, distribuídos em 15 máquinas num turno de 6 x 3 (seis dias trabalhados e três dias de descanso). Os turnos eram no horário das 15:00 às 00:00 e das 00:00 às 09:00, enquanto que das 09:00 às 15:00, o turno ficou exclusivo para a manutenção dos equipamentos.

A regulação das máquinas (calibrações mínimas de comprimento e diâmetro mínimo) foi realizada uma vez ao dia. Além disso, destaca-se que todas as árvores colhidas foram descascadas para madeira destinada a celulose em um comprimento de toras de 6,8 m, e um comprimento de 4,5 m para as toras de aproveitamento.

4.4. Coleta de dados

4.4.1. Inventário florestal

Inicialmente, realizou-se um inventário florestal contínuo para o levantamento de dados de circunferência à 1,30 m do solo (CAP), altura total e altura dominante. Para isso, foram alocadas de forma sistemática 8 parcelas

circulares de 400 m², sendo as coordenadas pré-determinadas (Figura 3 e Tabela 3), com uma intensidade amostral de uma parcela à cada cinco hectares, a fim de garantir um erro amostral de 4%.

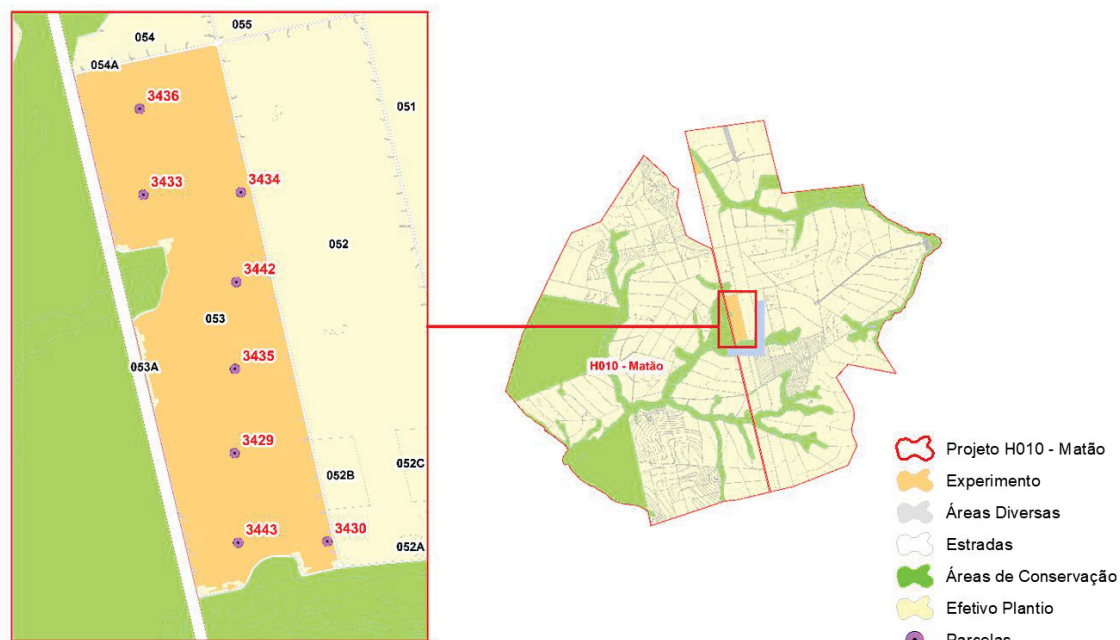


Figura 3. Distribuição das unidades amostrais em um povoamento de *Eucalyptus grandis* situado no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul.

Tabela 2. Coordenadas Geográficas das unidades amostrais (UA) – Datum SIRGAS 2000.

Nº Parcela	Coord. X	Coord. Y
3436	-51,7984904	-20,4043128
3443	-51,7952384	-20,4186401
3429	-51,7953574	-20,4156849
3433	-51,7983709	-20,4071505
3442	-51,7952996	-20,4100289
3434	-51,7951503	-20,4070659
3430	-51,7922957	-20,4185993
3435	-51,7953432	-20,4129020

Para realizar as mensurações da circunferência à altura do peito (CAP) e altura total, empregou-se uma fita métrica comum e um clinômetro, sendo mensurado o CAP de todas as árvores da parcela, enquanto que para a altura total empregou-se à altura de apenas 10 árvores, a fim de estimá-las por meio de relações hipsométricas. Além disso, para determinar a altura dominante, mensurou a altura de quatro árvores, por parcela, com os maiores CAP.

Os dados foram coletados, com auxílio de coletores digitais, sendo sincronizados para a utilização no sistema SGF Inflor, seguido do processamento dos dados. O volume comercial (descontado a altura do toco entre 10 a 15 cm e a ponteira 5 cm) foi determinado através de relações volumétricas, com dados de cubagem rigorosa. Enquanto que para a estimativa dos sortimentos obtidos empregou-se uma equação ajustada de polinômio de 5º Grau (Equação 1) disponibilizada pela empresa.

$$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{h}\right)^1 + \beta_2 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5 \quad (1)$$

Em que: d_i = diâmetro em uma seção i (cm); d = diâmetro a 1,3 m do solo (cm); β_i = coeficientes de regressão; h = altura total (m); e h_i = altura a uma seção i (m).

Coeficientes

$$\frac{d_i}{d} = 1,075644 + (3,012559) \left(\frac{h_i}{h}\right)^1 + 13,53199 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + (32,21234) \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + 33,73796 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + (13,14894) \left(\frac{h_i}{h}\right)^5 \quad (2)$$

Estatísticas

$S_{xy} = 0,45$ cm

$S_{xy}\% = 4,04\%$

$R^2_{ajust.} = 0,99$

4.4.2. Colheita de madeira

Foram obtidos os dados de volume comercial mensurados pelo cabeçote *harvester*, oriundos de um arquivo exportado em formato hpr, com auxílio de uma antena GSM-GNSS montada na cabine para coleta dos dados geoespaciais (Figura 4). O sistema de controle foi o MaxiXplorer 3.5, apresentando conformidade com o padrão StanForD.

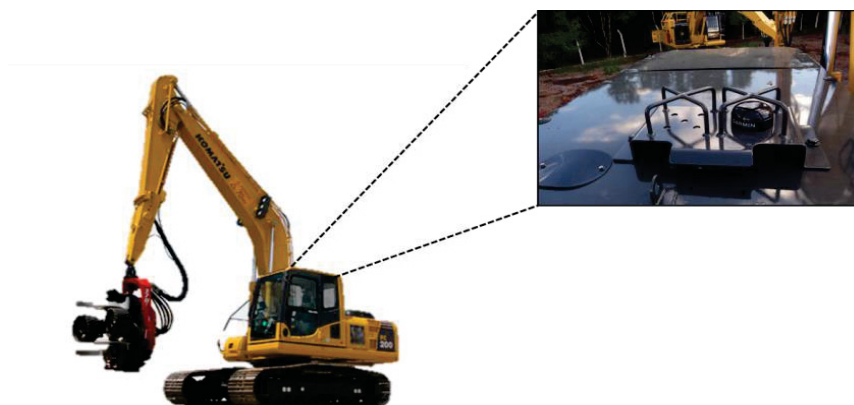


Figura 4. Posição da antena GNSS na cabine do equipamento.

Fonte: Adaptado de KOMATSU (2019).

Para a coleta dos dados de telemetria foi utilizada uma solução desenvolvida junto a empresa Simova denominada “BobAgro”. Esses dados foram coletados no computador de bordo do *harvester* por meio de um celular utilizando uma conexão via Bluetooth. Após a coleta, os dados sincronizados e enviados para um portal foram baixados via intranet e enviados para um geodatabase (Figura 5).



Figura 5. Fluxo de coleta de dados.

4.5. Análise dos dados

Para a análise de dados foi utilizado o *software* ArgGis Desktop versão 10.5 Esri ® e a extensão *Geoestatistical Analyst* usando o procedimento de interpolação pela ponderação do inverso da distância (IDW). Calculou a potência ótima para cada parcela de inventário e para cada coordenada coletada no arquivo hpr associado as árvores colhidas na posição. Na referida análise gerou-se dois produtos, sendo uma análise baseada no volume do povoamento ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e outra por volume individual ($\text{m}^3 \text{ árv}^{-1}$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados de inventário florestal empregados na elaboração de mapas de produtividade foi possível verificar que houve diferença espacial conforme uma análise visual entre os mapas de produtividade por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) e árvore média ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) (Figura 6a e 6b).

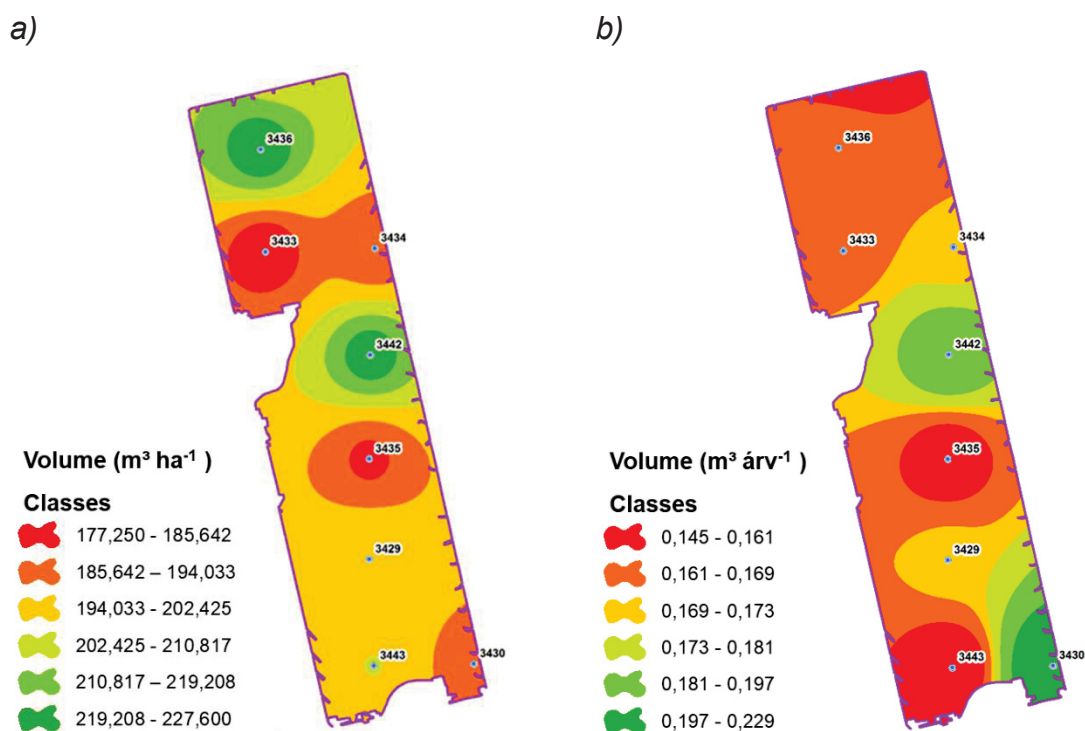


Figura 6. Classificação pelo IDW com dados do inventário para volume por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (a) e para volume por árvore ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) (b).

O mapa interpolado da variável volume do inventário foi o que melhor representou a produtividade média em metros cúbicos do talhão (Figura 6a). No mapa de volume por árvore (Figura 6b), o volume por hectare foi individualizado pelo número de árvores por hectare, ou seja, parcelas com a mesma produtividade podem apresentar maior ou menor árvore. Assim, comparando os mapas apresentados nas Figuras 6a e 6b, nos locais onde as classes de IDW são coincidentemente melhores ou piores, essa relação vai existir em qualquer uma das análises já que o plantio tem a mesma idade, logo o número de árvores terá um peso maior dentro da parcela, por isso o ideal é analisar por unidade de área, evitando essa heterogeneidade.

Por meio dos dados de obtidos da colheita de madeira, empregados na elaboração de mapas de produtividade, foi possível verificar que o mapa de produtividade gerado a partir dos dados extraído do *harvester* ficou com as classes e regiões mais detalhadas devido ao maior número de amostras utilizadas na interpolação (Figura 7).

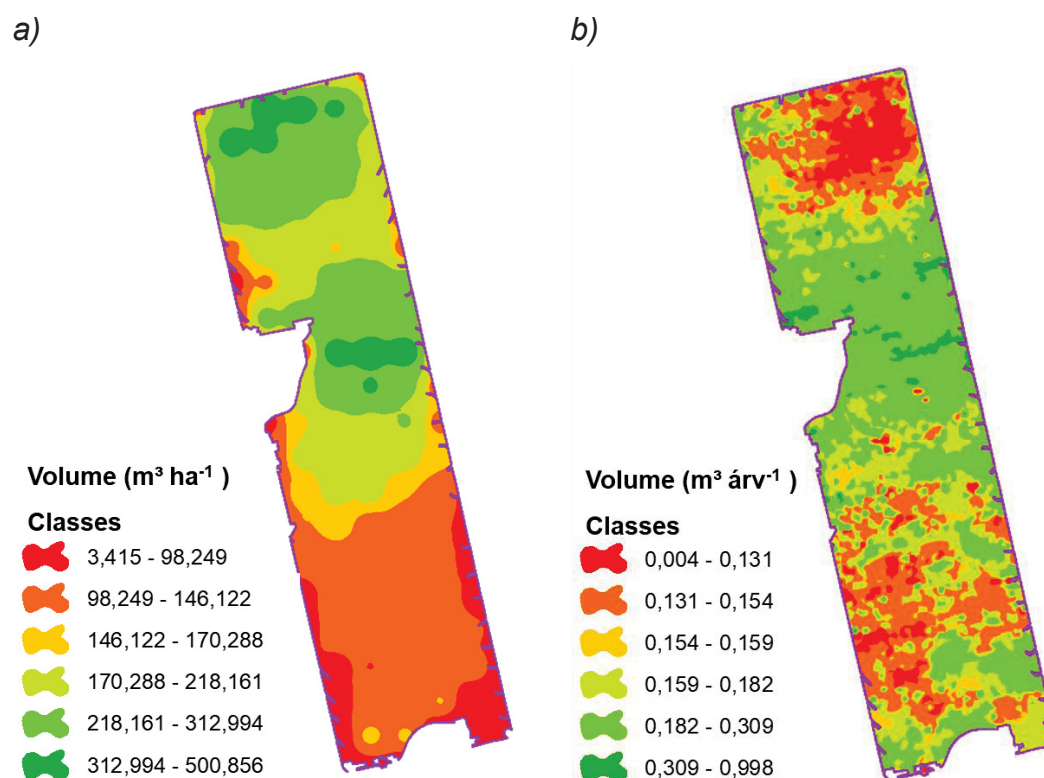


Figura 7. Classificação pelo IDW dos dados obtidos do *harvester* para volume por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (a) e para volume por árvore ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) (b).

Ao realizar a comparação das classes entre volume de inventário com dados do *harvester* reclassificado, verificou-se que as classes das duas fontes se assemelham visualmente, porém com os dados extraídos do *harvester* se obtém um detalhamento maior da área avaliada (Figura 8) (Tabela 3), assim, notou-se que para cada classe de produtividade obtida com dados de inventário existe um número maior de classes de produtividade obtidas com dados de sensores devido ao número maior de amostras obtidas.

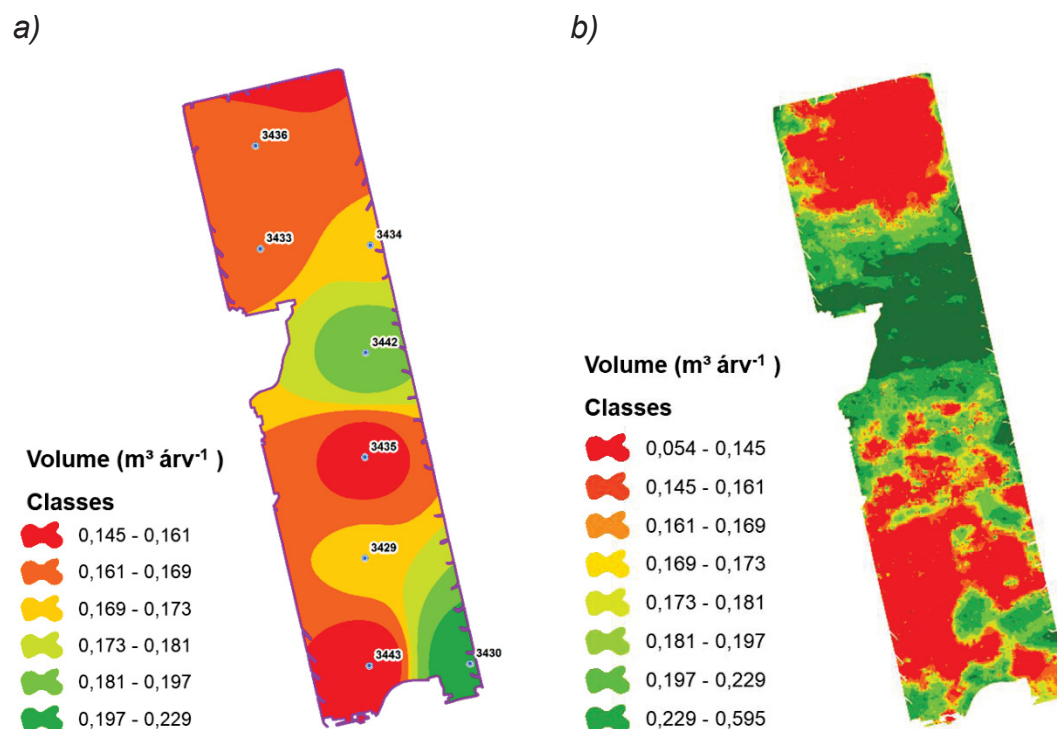


Figura 8. Classificação pelo IDW dos dados inventário por árvore média (a). e, reclassificação com dados do harvester para árvore média (b).

Tabela 3. Cruzamento espacial de árvore média inventário e dados do cabeçote harvester.

		Árvore Média ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) - Inventário					
		0,145 - 0,161	0,161 - 0,169	0,169 - 0,173	0,173 - 0,181	0,181 - 0,197	0,197 - 0,229
Árvore Média ($\text{m}^3 \text{árv}^{-1}$) Harvester	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145	0,054 - 0,145
	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161	0,145 - 0,161
	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169	0,161 - 0,169
	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173	0,169 - 0,173
	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181	0,173 - 0,181
	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197	0,181 - 0,197

Na Figura 9, as parcelas do inventário ficaram na mesma classe dos dados obtidos pelo *harvester*. Logo, nos mapas de produtividade gerados a partir dos dados extraídos do *harvester* foi possível observar um nível de detalhe maior. Essas variações de produtividade do *harvester* representada pelo volume

por hectare e árvore média comparada com as parcelas de inventário, que tem uma intensidade de uma parcela de 400 m² por hectare, deve-se atentar ao baixo erro associado a esse tipo de amostragem. Pois, sabe-se que o percentual de acerto do inventário é maior que 95%, conforme diversos estudos e relatos por diretores de empresas. Então é considerada uma variação aceitável.

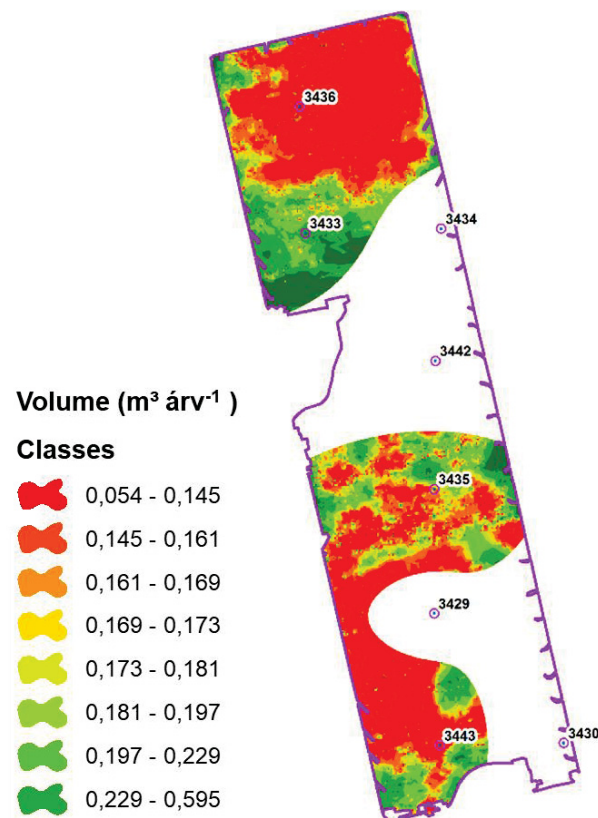


Figura 9. *Intersect* com as classes dos dados classe volume cabeçote *harvester* x área Classe (0,145 - 0,161) do volume do inventário.

Ao comparar os volumes médios do inventário, do corte e posto fábrica, os valores obtidos foram considerados satisfatórios, pois os volumes gerados pelo cabeçote *harvester* ficaram em média 7% maior que o volume disponibilizado pelo inventário e 0,39% maior que o posto fábrica, enquanto que o inventário ficou 6% menor que o posto fábrica (Tabela 4).

Entretanto existem três fatores a serem analisados com maior profundidade para se tornar o referido estudo em uma ferramenta operacional: (1) o sinal de GPS, pois em alguns talhões houve perda da referência espacial, devido ao uso de GPS de navegação e a intensidade de sinal em locais com florestas mais densas; (2) a conexão GPS com o computador de bordo do *harvester*, pois

apesar de apenas supervisores e técnicos possuírem a senha de acesso à configuração do sistema, a conexão do GPS se dá através de uma porta USB de fácil acesso podendo ser desconectada facilmente interrompendo o recebimento do sinal; e (3) a manutenção e aferição dos sensores instalados no cabeçote que captam dados de comprimento e diâmetro dos fuste das árvores abatidas. Pois são essenciais para que os dados gerados sejam confiáveis.

Tabela 4. Comparativo de volumes do inventário, do corte e posto fábrica do talhão avaliado

Povoamento	Volume Inventário (m ³)	Volume <i>Harvester</i> (m ³)	Volume Posto Fábrica (m ³)
S3	18.242,10	19.550,11	19.474,04

6. CONCLUSÕES

Os mapas de produtividade são grandes aliados para realização da gestão dos trabalhos de campo, pois por meio deles pode-se constatar a variabilidades consistentes e inconsistentes do povoamento. A qualidade dessas informações geradas estava ligada diretamente com a frequência de manutenção e calibração dos equipamentos. Assim, com uma gama maior de informação geradas fica fácil a identificação dos desvios nos dados analisados.

O resultado obtido foi satisfatório pois apresentou uma coerência entre o volume estimado pelo inventário florestal e o volume obtido por meio de dados mensurados pelo cabeçote *harvester*, juntamente com o volume posto fábrica. Essa consistência dos dados obtidos da integração do cabeçote, GPS e *software* de gestão da máquina potencializa uma ferramenta de tomada de decisão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, L. H. V.; PINTO, A. L. R.; SILVA, S. T.; ALTOÉ, T. F.; MORAIS, V.A.; MELLO, J .M. Comparação de procedimentos de amostragem na precisão de Inventário Florestal em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. In: Congresso de Pós-Graduação da UFLA, 19., Lavras, 2010. **Anais...** Lavras: SBPC, 2010. 6p.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.

EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modeling: Acquisition, Manipulation, and Applications**. Boston/ EUA. Artech House. 2005. 270 p.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Planning forest roads and harvesting systems**. Rome: FAO Forest Paper, 1977.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 402 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; KERSHAW, J. **Forest mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Willey e Sons, Inc, 2003. 443 p.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual**. Brasília, 2017. p. 16 - 25.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual**. Brasília, 2019. p. 34 - 35.

KANTOLA, M.; HARSTELA, P. **Manual de Tecnologias Apropriadas às Operações Florestais em Países em Desenvolvimento**, Helsink: Direção Nacional de Educação Vocacional do Governo da Finlândia. Parte 2. Programa de Treinamento Florestal Publicação, n. 9, 1994, 202 p.

KOMATSU. **Escavadeiras florestais.** Disponível em: <https://www.komatsuforest.com.br/produtos/escavadeiras-florestais/pc200f-harvester>>. Acesso em: 25 Ago. 2019.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de pinus na região sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998.

MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R. **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 4, 2011. p. 793-804.

NADOLNY, A.; BERUDE, L. C.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C.; RODRIGUES, C. K. Qualidade na operação de corte florestal em povoamentos submetidos a dois modelos de desbaste mecanizado. **PFB Embrapa**, v. 39, n. especial, p. 1-7, 2019.

OLIVEIRA, L. T. **Aplicação do lidar no inventário de florestas plantadas**. 109 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ROBERT, R. C. G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. 1 ed. Curitiba: Ed. Do Autor, 2012. 112 p.

RODRIGUES, C. K.; SOUZA, A. L. S.; RETSLAFF, F. M. S.; CORTE, A. P. D.; LOPES, E. S. Modelagem geoestatística aplicada ao microplanejamento da colheita de madeira em povoamento de eucalipto. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 4, n. 2, p. 172-176, 2019.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; RODRIGUES, A. L.; WATZLAWICK, L. F. **Inventários Florestais: Planejamento e execução**. Curitiba: UFV, 3 ed., 2014, 406 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SHIVER, B.D.; BORDERS, B.E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. 1. ed. New York. John Wiley & Sons, Inc., 1996. 356 p.

SKOGFORSK. **StanFord**. 2019. Disponível em:
https://www.skogforsk.se/cd_48e5e6/contentassets/6d0b88fadcc5408c8e4bf4e09b44b108/measure-up.pdf

TANAKA, O. P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n. 141, p. 24-30, 1986.